

UTILIZAÇÃO DO COQUE DE PETRÓLEO COMO INSUMO ENERGÉTICO ¹

Oportunidades de Utilização de um Combustível Pouco Conhecido

*Autores: Guilherme Martins Ferreira ²
Luiz Felipe de Pinho ³*

Resumo

Informativo sobre potenciais de utilização do coque de petróleo como combustível. Hoje, o coque de petróleo é um resíduo de processo das refinarias de petróleo que vem encontrando cada vez mais utilização como combustível em diversos ramos da indústria. Há perspectivas de seu uso nos ramos de siderurgia e fundição, devido principalmente a seu custo atrativo. Neste trabalho descreve-se o coque de petróleo, apresenta-se um panorama de seu mercado e sugerem-se formas para sua utilização nesses dois ramos industriais.

Palavras-Chave

Coque de Petróleo, Combustão, Alto-Forno, Cubilô

1 - XXV Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades

2 – Engenheiro Mecânico pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e Diretor da Dynamis Mecânica Aplicada Ltda.

3 – Engenheiro Mecânico pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e Diretor da Dynamis Mecânica Aplicada Ltda.

1. O QUE É COQUE DE PETRÓLEO ?

Coque de Petróleo é a denominação genérica atribuída a um tipo de produto obtido a partir do craqueamento e carbonização de óleos residuais, sendo neste caso o componente mais pesado resultante. Esse produto apresenta-se normalmente sob a forma de um sólido granular de cor preta.

As principais aplicações comerciais dos coques de petróleo dependem de suas características específicas, sendo utilizados como fonte de energia em aplicações típicas de combustíveis sólidos tais como fornos rotativos de cimento e cal, bem como em grandes caldeiras de algumas centrais de geração de energia elétrica. Alguns coques calcinados são utilizados na fabricação de anodos na indústria de alumínio e eletrodos em fornos elétricos a arco para produção de aço.



1.1. Aspectos Gerais

O coque de petróleo é uma substância sólida que se apresenta na forma granular ou agulhada, na cor preta, constituído basicamente de Carbono, sendo resultado da decomposição térmica de óleos pesados derivados do petróleo.

Existem basicamente três formas de coque de petróleo, o “delayed”, o ‘fluid’ e o ‘flexi’. Essas denominações se dão de acordo com o processo de produção, como segue:

- *Delayed Petcoke* – obtido como resultado de um processo semi-contínuo denominado *Delayed Coking* (Coqueificação Retardada), esse produto tem conteúdo de hidrocarbonetos residuais significativo. Esse processo foi desenvolvido inicialmente para minimizar a produção de combustíveis residuais pesados, através de seu craqueamento térmico. Essa forma de coque contém cerca de 8-14% de voláteis.
- *Fluidcoke* – obtido a partir de processo contínuo de coqueificação em leito fluidizado. Esse processo foi desenvolvido para se obter exclusivamente coque para uso combustível e é o mais apropriado para matérias-primas com alto teor de enxofre.
- *Flexicoke* – obtido a partir de processo contínuo de coqueificação em leito fluidizado, no qual grande parte do coque é gaseificado, produzindo um gás de baixo poder calorífico utilizado na própria refinaria. O *Flexicoke*, dentre as três formas apresentadas, é o que contém menor teor de voláteis (cerca de 2,5-3,5%).



O coque de petróleo pode ser ainda classificado sob outro critério em duas categorias: *Green* (verde) e *Calcined* (calcinado). O coque verde é o produto imediato do processo de coqueificação. O coque calcinado é produzido a partir do coque verde, em processo no qual grande parte dos hidrocarbonetos é removida através de aquecimento em fornos rotativos sob condições redutoras e acima de 1200°C.

O material volátil presente no coque verde de petróleo é constituído basicamente de hidrocarbonetos, incluindo PAH's (*Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*) ou hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, que lhe conferem um odor característico. A fração fixa é constituída basicamente de Carbono, sendo o teor de cinzas/inorgânicos relativamente reduzido. O coque de petróleo calcinado é isento de voláteis, em termos práticos.

1.2. Composição

A composição de todo coque verde de petróleo é altamente dependente do petróleo cru que lhe deu origem e pode variar de lugar para lugar, bem como em função do tipo de processo empregado em sua obtenção (Tabela 1). Geralmente, coques de petróleo apresentam em sua composição todos os elementos que aparecem no petróleo cru, porém em proporções diferentes. Analogamente, todo coque calcinado tem sua composição resultante do tipo de coque verde processado durante sua produção.



Por causa dessa dependência das características da matéria-prima, a composição dos coques de petróleo varia em determinadas faixas, conforme indicado a seguir.

Tabela 1 – Faixas de Variação dos Componentes dos Coques

| Elemento | Teor em massa |
|------------|---------------------|
| Carbono | 84% – 97% |
| Enxofre | 0,2% - 6,5% |
| Hidrogênio | até 5% |
| Ferro | 0,005% – 0,2% |
| Vanádio | 0,0005% - 0,5% |
| Boro | 0,00001% - 0,00005% |
| Níquel | 0,001% - 0,3% |
| Voláteis | 2% -15% |

Análises típicas mais detalhadas de coques verdes produzidos nos Estados Unidos da América encontram-se na tabela 2, conforme o tipo de processo de coqueificação.

Tabela 2 – Composição de Coques conforme o Processo Produtivo

| Amostra | Fluid Process Coke | Delayed Process Coke | Delayed Process Coke (Micronized) |
|--|--------------------|----------------------|-----------------------------------|
| Análise Elementar (% em massa) | | | |
| Carbono | 84,58 | 89,93 | 89,97 |
| Hidrogênio | 2,15 | 3,71 | 3,04 |
| Oxigênio | 2,56 | 1,30 | 1,62 |
| Enxofre | 6,08 | 3,36 | 3,27 |
| Nitrogênio | 1,45 | 1,10 | 1,10 |
| Outras Análises (% em massa) | | | |
| SiO ₂ | 0,04 | 0,04 | <0,04 |
| Cinzas | 0,81 | 0,21 | 0,19 |
| Metais (ppm) | | | |
| Arsênico | <0,001 | <0,001 | 0,3 |
| Selênio | 5,3 | 4,5 | <0,2 |
| Mercurio | 113 | <1 | <1 |
| Vanádio | 410 | 145 | 140 |
| Níquel | 160 | 95 | 78 |
| Extraíveis por Benzeno (% em massa) | 0,15 | 1,79 | 2,08 |
| PAH's (% em massa) | 0,153 | 0,167 | 0,103 |

1.3. Propriedades Típicas

Os coques de petróleo são comercializados na forma de sólidos secos (desempoeirados ou não) ou na forma de “slurries” (lamas ou pastas) com óleos ou água.

Há apenas um pequeno número de propriedades, entre elas densidade real e aparente, que são informadas normalmente pelos fornecedores. Outras propriedades importantes são fornecidas a pedido, conforme a utilização a ser dada ao produto. Para aqueles que utilizam o coque como combustível, dados de Poder Calorífico e Dureza (Hardgrove Index - HGI) são particularmente importantes, além das análises químicas. Para outros usuários, como fabricantes de eletrodos, o teor de certos metais e a granulometria do produto podem ser mais importantes (Tabela 3).

Tabela 3 – Propriedades Típicas de Coques de Petróleo

| Amostra | Coque Verde | Coque Calcinado |
|-------------------------------------|-------------|-----------------|
| Densidade (kg/m³) | | |
| Aparente (compactado) | 700 – 900 | 750 – 950 |
| Real | 1350 – 1450 | 2060 – 2160 |
| Poder Calorífico (MJ/kg) | | |
| Superior | 34,5 – 36,0 | 32,8 – 33,0 |
| Inferior | 33,9 – 35,0 | 32,8 – 33,0 |
| Dureza | | |
| HGI | 25 – 70 | 25 -40 |

1.4. Referência para Coque de Petróleo Importado

Nas Tabelas 4 e 5 encontram-se análises de um coque de petróleo, como recebido, carregado em Corpus Christi, Texas – USA. Essas características são bastante representativas do coque que tem sido importado pelo Brasil para fins de utilização como combustível na indústria de cimento:

Tabela 4 - Composição: Análise Imediata (amostra úmida)

| Componente | Teor (% em massa) |
|-----------------|-------------------|
| Matéria Volátil | 11,18 |
| Carbono Fixo | 82,14 |
| Cinzas | 0,40 |
| Umidade | 6,28 |

Fonte: Sabine Laboratories

Tabela 5 - Composição: Análise Elementar (amostra seca)

| Elemento (base seca) | Teor (% em massa) |
|------------------------|-------------------|
| Carbono | 86,57 |
| Hidrogênio | 3,25 |
| Enxofre | 5,50 |
| Nitrogênio | 1,67 |
| Outros | 3,01 |

Fonte: Sabine Laboratories

- Poder Calorífico Inferior: 8.130 kcal/kg ou 34,0 MJ/kg (seco).
- Hardgrove Grindability Index: 55 a 58.

1.5. **Referência para Coque de Petróleo Nacional**

As Tabelas 6 e 7 apresenta análises do coque verde de petróleo como recebido da Petrobrás pelo consumidor industrial, elaboradas pela ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) e pela Unimetal:

Tabela 6 - Composição: Análise Imediata (amostra úmida)

| Componente | Teor (% em massa) | |
|-----------------|-------------------|----------|
| | ABCP | Unimetal |
| Matéria Volátil | 8,85 | 8,0 |
| Carbono Fixo | 84,59 | 89,0 |
| Cinzas | 0,75 | 0,3 |
| Umidade | 5,81 | 8,0 |

Fontes: ABCP e Unimetal

Tabela 7 - Composição: Análise Elementar (amostra seca)

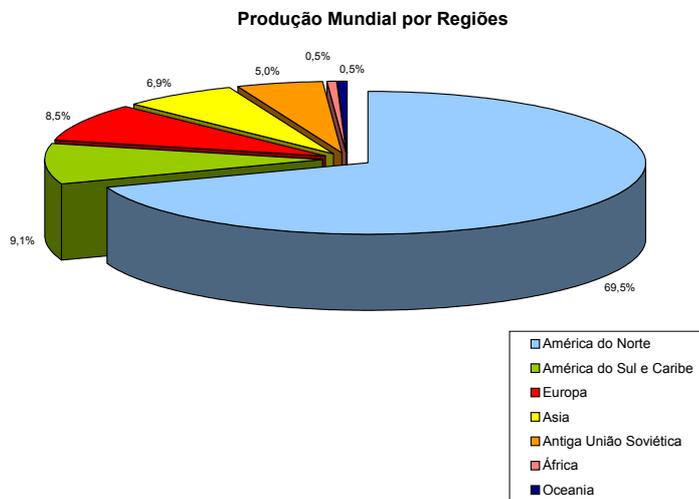
| Elemento (base seca) | Teor (% em massa) | |
|------------------------|-------------------|----------|
| | ABCP | Unimetal |
| Carbono | 90,66 | 90,0 |
| Hidrogênio | 3,64 | 3,7 |
| Enxofre | 0,90 | 0,9 |
| Nitrogênio | 1,02 | 1,0 |
| Outros | 3,78 | 4,5 |

Fontes: ABCP e Unimetal

- Poder Calorífico Inferior: 8.510 kcal/kg ou 35,6 MJ/kg (seco).
- Hardgrove Grindability Index: 52 a 55.

2. PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DO COQUE DE PETRÓLEO

A produção mundial de coque de petróleo atingiu 81 Mt (milhões de tonelada) em 2001, 83 Mt em 2002 e deverá ultrapassar 88 Mt em 2005. Os Estados Unidos da América são o maior produtor, respondendo por cerca de 66% da produção mundial. Cerca de 57% da produção americana vem da costa do Golfo do México (Texas e Louisiana). Nos Estados Unidos, cerca de 35 refinarias produzem coque de petróleo em quantidades apreciáveis (mais de 1000 t/dia).

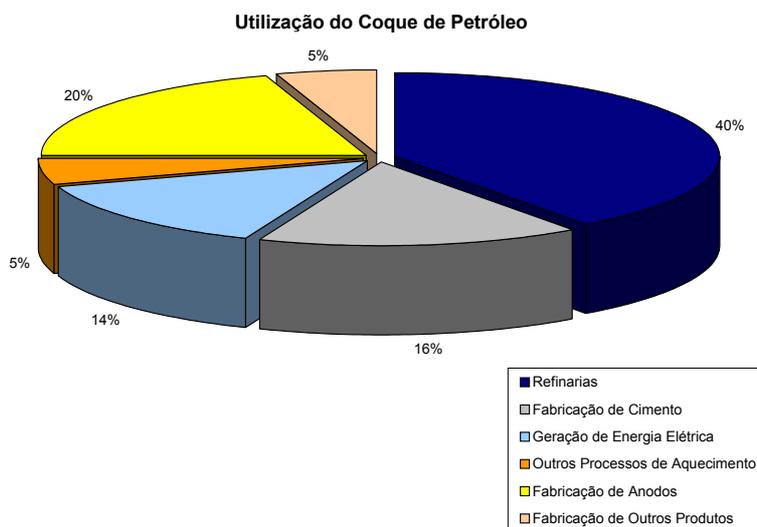


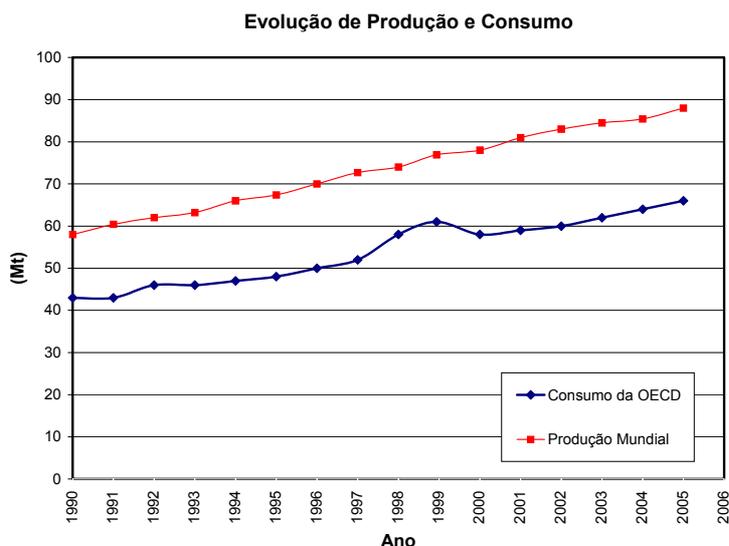
A América do Sul e o Caribe produzem cerca de 9% do coque de petróleo, devendo passar para cerca de 14% em

2005. Isto se deverá principalmente ao grande incremento produtivo da Venezuela, que passará a ser o segundo maior produtor de coque de petróleo do mundo.

Aproximadamente 75% da produção de coque de petróleo é utilizada como energético, principalmente nas refinarias de petróleo, em termelétricas e na indústria de cimento. Cerca de 40% da produção mundial é utilizada no craqueamento catalítico nas próprias refinarias de petróleo, 16% na indústria de cimento e 14% em geração de energia elétrica. Os cerca de 5% faltantes são utilizados como fonte de energia numa gama relativamente grande de indústrias.

Outra importante aplicação do coque de petróleo, cerca de 20% da produção mundial, é a confecção de anodos para a produção de alumínio e eletrodos para produção de aço. Nesse caso o coque é utilizado sob a forma calcinada. Outros 5% são utilizados na fabricação de autopeças, pneus, peças de grafite, etc.



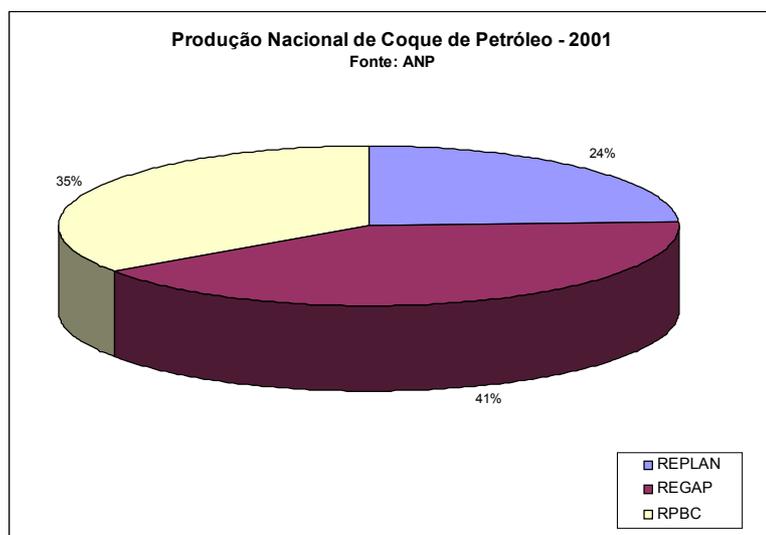


Os membros da OECD (Organization for Economic Cooperation and Development), que se constitui basicamente do grupo de 30 países mais desenvolvidos do mundo, consumiram, em 2002, cerca de 60 Mt, ou seja, 72% da produção mundial, sendo os maiores consumidores: EUA, Japão, Canadá, Espanha, Itália, Alemanha e Reino Unido.

No Brasil, a produção de coque em 2001 foi de aproximadamente 1,4 Mt. Em 2002, a produção nacional chegou a cerca de 1,5 Mt.

Atualmente somente três refinarias no Brasil produzem coque de petróleo: REGAP, REPLAN, RPBC. Projetos de novas unidades para coqueificação encontram-se em implantação, tais como o da REDUC, cujo perfil de refino está sendo modificado para reduzir o processamento de óleo cru do Oriente Médio e

África Ocidental (mais leves) e aumentar o processamento de cru produzido na Bacia de Campos (mais pesado). Igualmente importante, é a ampliação da capacidade produtiva da REPLAN. A implantação desses projetos deverá repercutir em um aumento da capacidade de produção de coque de petróleo no Brasil da ordem de 40% até o ano de 2005.



3. COQUE DE PETRÓLEO COMO COMBUSTÍVEL

Conforme citado anteriormente, cerca de 75% do coque de petróleo produzido no mundo é consumido na forma de combustível. Os principais consumidores, nesse caso, são as próprias refinarias de petróleo, que dão preferência por utilizar internamente um combustível de baixo valor comercial, maximizando a produção e comercialização de outros produtos de valor mais elevado.

O coque de petróleo, considerado como combustível sólido, tem as seguintes características:

Características Positivas

- Elevado poder calorífico
- Reduzido teor de cinzas
- Baixo custo de aquisição

Características Negativas

- Reduzido teor de materiais voláteis, embora isto possa ser benéfico para alguns processos como produção de gusa
- Elevado teor de enxofre, embora haja coques com baixo enxofre
- Cinzas contendo metais pesados

As características positivas levam as empresas a ter alto interesse em sua utilização, sendo o preço o principal fator de impulsão. Já as características negativas implicam em grandes desafios técnicos para a utilização do coque nos equipamentos industriais.

Por ser um combustível primariamente sólido, os citados desafios técnicos são particularmente grandes quando se considera a utilização do coque em substituição a combustíveis líquidos e gasosos em equipamentos originalmente projetados para estes. Isto não significa que a utilização de coque em substituição a combustíveis sólidos convencionais seja simples.

A modalidade de utilização mais comum é a que envolve a secagem e a moagem do coque, obtendo-se um material pulverizado que é injetado nas câmaras de combustão através de queimadores supridos por sistemas de transporte pneumático. Essa é a forma como o coque é utilizado nos fornos rotativos de clinkerização, para produção de cimento. Também é a forma como é injetado em grande parte das caldeiras de termelétricas, geralmente misturado ao carvão. A tecnologia de combustão de coque pulverizado consiste basicamente do aperfeiçoamento da tecnologia de combustão dos carvões pulverizados, não requerendo grandes modificações dos equipamentos a serem atendidos. Na verdade, as maiores modificações se dão nos equipamentos de moagem e classificação, com o objetivo de obter um combustível mais fino.

Para a adequada queima de um combustível sólido, costuma-se dizer que, além do suprimento do ar de combustão em quantidade suficiente, são necessários três condições adicionais:

- Temperatura
- Tempo
- Turbulência

O fator *temperatura* é importante porque as reações de oxidação típicas da combustão são aceleradas à medida que a temperatura se eleva. Por essa razão é que em fornos de cimento, onde as temperatura das paredes da câmara superam 1500°C, as condições para a combustão são mais favoráveis que em caldeiras, onde as temperaturas das paredes dificilmente ultrapassam 500°C.

O fator *tempo* é importante porque as partículas de combustível requerem um determinado tempo para serem consumidas. É necessário que se considere que o tempo para se consumir uma partícula é aproximadamente proporcional ao quadrado do seu diâmetro, daí a importância da granulometria do combustível no desempenho da combustão. O fator *tempo* também se manifesta através do tamanho da câmara de combustão, uma vez que câmaras maiores permitem um maior tempo de permanência das partículas sob condições favoráveis de queima.

O fator *turbulência*, por sua vez, é o que vai determinar o grau de mistura entre

combustível e oxidante. Não havendo turbulência, a mistura é deficiente, o contato entre reagentes é pequeno e a reação dificilmente se completa.

É importante ter em conta esses fatores ao se analisar um processo de combustão, lembrando que, dentro de determinados limites, a deficiência em um deles pode ser compensada com a atuação na melhoria dos outros dois.

O uso do coque na forma sólida granulada pode ser viabilizada, em alguns casos, através da utilização da combustão em leito fluidizado, tecnologia cujo desenvolvimento iniciou-se na década de 1970 e que hoje é amplamente dominada por algumas empresas. Exemplo desse uso pode ser encontrado nas grandes centrais termelétricas com caldeiras em leito fluidizado recirculante (CFB). Nesses equipamentos as temperaturas são moderadas, entretanto, o tempo de residência das partículas e a turbulência são bastante elevados.

Em último caso, em se tratando de um equipamento que simplesmente não comporta a combustão de sólidos, resta ainda a alternativa de gaseificação do coque de petróleo e a produção do chamado Syngas (ou combustível sintético gasoso). Há que se considerar o fato que, nesse processo, de 10% a 25% da disponibilidade térmica associada ao coque é consumida no processo de gaseificação, restando 75% a 90% para o gás produzido.

4. PERSPECTIVAS

4.1. Disponibilidade

A longo prazo, a capacidade de produção de coque de petróleo apresentará expansão. Sua taxa de crescimento deverá ser, inclusive, maior que a tendência de crescimento do consumo. Isto deverá contribuir para a diminuição dos preços internacionais nos próximos anos. Algumas empresas de Trading informam que, atualmente, já não há compradores de coque de petróleo suficientes para absorver todos os estoques disponíveis.

Hoje, o maior obstáculo na ampliação do uso do coque é que o produtor tem somente dois grupos a atingir: As companhias de cimento e as geradoras de energia. De acordo com os analistas, a indústria de cimento está chegando a um ponto de saturação e seu ritmo de crescimento é inferior ao de produção de coque. Assim, o que resta é o mercado de geração de energia, já que somente 50% das plantas geradoras de energia a combustível sólido do mundo usam alguma mistura de coque de petróleo como combustível.

Uma alternativa de mercado que está emergindo são as próprias refinarias. ExxonMobile, ChevronTexaco, Shell e outras usam suas tecnologias para queimar o coque que produzem em leito fluidizado, como fonte de aquecimento em seus equipamentos. Algumas de suas refinarias começaram a instalar sistemas que usam o coque de petróleo tanto para gerar eletricidade quanto para obter produtos petroquímicos e hidrogênio.

Há um crescente interesse no uso de coque de petróleo em plantas termelétricas futuras. Empresas do ramo nos EUA já manifestaram interesse de utilizar o coque de petróleo em novas plantas de até 1000 MW_e, em associação com as companhias petrolíferas, sendo que cada planta consumiria de 2 a 4 milhões de toneladas de coque por ano. Portanto, caso venham a ser implantadas, cada termelétrica absorveria o incremento anual previsto na produção mundial de coque, o que poderia vir a ser um fator de influência no preço desse combustível.

4.2. Preços

Vários fatores influenciam o preço de mercado do coque de petróleo. Quando o preço internacional do carvão aumenta, a demanda por coque de petróleo também aumenta. Na visão dos analistas, a alta do preço internacional do carvão geralmente é o que mais influencia na alta do preço do coque de petróleo, usualmente com um atraso de cerca de 3 meses. Por outro lado, a diminuição de preços no mercado mundial de carvão resulta quase que instantaneamente na diminuição do preço do coque de petróleo, já que os usuários reagem imediatamente, retomando ao consumo de um produto cujo uso é mais conveniente, se seu preço é mais acessível.

Como exemplo, em 1999-2000, a compra de coque de petróleo pelas empresas geradoras de energia caiu significativamente. A diminuição foi resultado do decréscimo no preço do carvão, que tornou este produto de maior qualidade também mais atrativo em comparação com o coque de petróleo. Por outro lado, no início de 2004 o hemisfério norte viveu um rigoroso inverno e os preços do carvão (e também do petróleo) subiram, trazendo consigo um aumento temporário dos preços do coque.

Para o consumidor industrial brasileiro, o comportamento dos preços do coque de petróleo deve seguir dois rumos diferentes, conforme a origem do produto. O coque de alto enxofre (importado) deverá seguir a tendência do mercado internacional. O preço do coque nacional, de baixo enxofre, deverá seguir atrelado ao preço do óleo combustível, sempre em patamares superiores aos do produto importado.

O mercado de coque de alto enxofre (importado) tem algumas peculiaridades associadas ao fato de ter oferta essencialmente inelástica. Os analistas observam que o coque de petróleo é um combustível cujo preço é volátil, pois ele é essencialmente um subproduto. A quantidade de coque de petróleo que uma refinaria produz tem pouco ou nada a ver com o mercado de coque de petróleo. De fato, as refinarias não decidem produzir mais coque de petróleo quando o mercado cresce ou o preço sobe. A única razão para a produção de coque de petróleo crescer é quando maiores quantidades de frações pesadas de petróleo são convertidas em frações mais leves, como combustível de aviação, que criam mais resíduos. Por outro lado, se uma refinaria está produzindo mais frações pesadas, como óleo combustível, o processo produz menos coque de petróleo.

O preço do coque de petróleo não se mostrou estável, nos últimos anos. Espera-se que os preços diminuam, impulsionados por expansões nas capacidades de coqueificação das refinarias. De fato, essa capacidade de coqueificação deve aumentar muito nos próximos 5 anos, já que as refinarias trabalham para obter maiores volumes de frações leves, partindo de frações pesadas do petróleo, principalmente na Ásia, América do Sul e Caribe.

Entretanto, esse panorama pode sofrer alguma modificação com a eventual entrada em operação de grandes termelétricas a coque nos Estados Unidos. Todavia, isto não deve ocorrer em menos de 5 anos.

Hoje, os custos relativos dos combustíveis no Brasil podem ser sintetizados na tabela 8, que utiliza o óleo combustível A1 como referência (base térmica). Esses valores são meramente orientativos e podem sofrer influ-

ência de fatores como frete interno, despesas com processamento, etc.

Tabela 8 – Custos Relativos de Energéticos (base térmica)

| Combustível | | Custo Relativo |
|--------------------|---------------------------------|----------------|
| Carvões Minerais | East American (Norte-Americano) | 35 % |
| | Richard's Bay (Sul-Africano) | 23 % |
| | Colombian | 25 % |
| Carvão Vegetal | Brasil | 55 % |
| Coque Siderúrgico | Brasil | 110 % |
| | China | 160 % |
| Coques de Petróleo | 4,5% S / 40 HGI / Gulf | 20 % |
| | 6,5% S / 40 HGI / Gulf | 15 % |
| | 1,0% S / 50 HGI / BR | 55 % |
| Óleos Combustíveis | BR tipo 1 A | 100 % |
| | BR tipo 7 A | 65 % |
| Gás Natural | Comgas | 95 % |
| Biomassa | Bagaço de Cana (SP) | 35 % |

Fontes: Petroleum Argus, Glencore Intl., BR Distribuidora, Shell / Comgas, Unimetal

4.3. Utilização em Siderurgia e Fundição

A utilização de coque de petróleo mais atraente na área de siderurgia refere-se à injeção deste produto na forma pulverizada através de lanças posicionadas nas ventaneiras dos alto-fornos, visando a redução do consumo de coque siderúrgico. Existe uma vasta bibliografia sobre o tema da injeção de finos em alto-fornos, sendo comum se chegar à conclusão que essa injeção, quando se trata de carvão pulverizado, pode levar à economia de coque siderúrgico, porém pode levar também à redução da permeabilidade do leito do forno e ao aumento da vazão específica de gases (principalmente devido ao teor de voláteis do carvão), resultando em perda de capacidade produtiva de metal líquido. Entretanto, quando se substitui carvão pulverizado por coque pulverizado, não há aumento significativo do fluxo gasoso, pelo baixo teor de voláteis deste combustível, evitando-se, assim, um problema enfrentado quando se injeta carvão. O mesmo tipo de vantagem ocorre quando se compara a injeção de coque com a de gás natural através das ventaneiras, como ocorre em alguns alto-fornos. Estima-se que haja potencial para utilização de 100 a 150 kg de coque de petróleo por tonelada de gusa produzido, em substituição ao coque siderúrgico na razão aproximada de 1:1. É importante observar que, em princípio, deve-se utilizar coque de petróleo de baixo teor de enxofre nesse processo.

Adicionalmente, deve-se citar as pesquisas em andamento atualmente para produzir briquetes de coque de petróleo para substituir o próprio coque siderúrgico no interior dos alto-fornos. Quanto a este ponto, há informações que indicam que as propriedades mecânicas dos briquetes, como resistência a compressão, fator primordial para o sucesso da substituição, têm evoluído significativamente.

Seguindo o exemplo do alto-forno na indústria siderúrgica, a indústria de fundição pode aproveitar o mesmo conceito nos fornos cubilô para produção de ferro fundido a partir de sucata de aço. No caso, verifica-se um potencial de economia de coque metalúrgico ao se injetar coque de petróleo pulverizado pelas ventaneiras. Adicionalmente, pode-se esperar melhores

resultados quanto à incorporação de carbono no produto e quanto ao controle operacional do forno.

Em ambos os casos, os resultados a serem obtidos tendem a melhorar significativamente se houver utilização de oxigênio no equipamento, quer seja pelo enriquecimento do fluxo de ar injetado (tipicamente 3 a 5 pontos percentuais), quer seja pelo emprego de lanças nas ventaneiras.

A título de exemplo, pode-se conceber uma modificação de condições de operação de um alto-forno baseada na substituição parcial de coque siderúrgico por coque de petróleo de baixo teor de enxofre, em base relativamente conservadora, indicada na tabela 9.

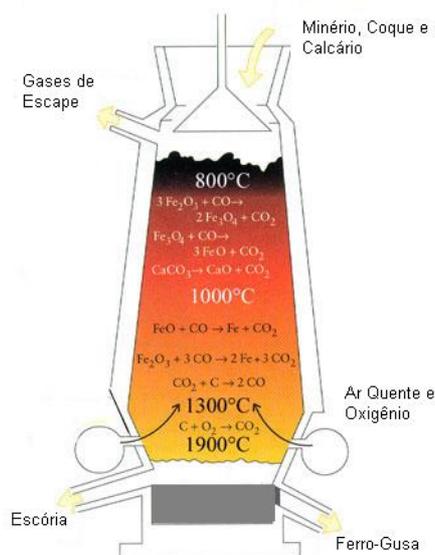


Tabela 9 – Comparação de Custos

| | Situação Inicial | Situação Final |
|------------------------------|---------------------|---------------------|
| Consumo de Coque Siderúrgico | 600 kg / t gusa | 500 kg / t gusa |
| Custo do Coque Siderúrgico | R\$ 720,00 / t gusa | R\$ 600,00 / t gusa |
| Consumo de Coque de Petróleo | - | 100 kg / t gusa |
| Custo do Coque de Petróleo | - | R\$ 37,00 / t gusa |
| Custo total | R\$ 720,00 / t gusa | R\$ 637,00 / t gusa |

Cabe neste ponto, para finalizar, uma comparação entre o coque de petróleo e o carvão vegetal, sintetizada na tabela 10.

Tabela 10

| | Carvão Vegetal | Coque Verde de Petróleo |
|-----------------------|--|--|
| Teor de Carbono Fixo | 74% | 88% |
| Teor de Cinzas | 4% | 1% |
| Teor de Voláteis | 22% | 11% |
| Preço | R\$ 300 / t | R\$ 370 / t |
| Preço do Carbono Fixo | R\$ 405 / t | R\$ 420 / t |
| Vantagens | - Preço mais baixo - Combustível renovável | - Menor volume de gases para um mesmo aporte de Carbono - Baixo teor de cinzas melhora a operação - Suprimento estável |
| Desvantagens | - Maior volume de gases para um mesmo aporte de Carbono - Teor de cinzas mais alto dificulta a operação - Suprimento irregular | - Preço mais alto - Combustível de origem fóssil (não renovável) |

Abstract

This article concerns the potential use of petcoke as fuel. Today, petcoke is a by-product from the crude oil refining process that finds more and more uses as fuel in several fields of industry. There are concrete perspectives of its use in Ironmaking and Foundry, mainly because its attractive price. This paper describes petcoke, presents a market overview and suggests ways for its use at those mentioned types of industry.

Keywords

Petcoke, Combustion, Blast-furnace, Cupola